УДК 66.023.2

# АНАЛИЗ РАБОТЫ АМАЛЬГАМНО-ОБМЕННОЙ КОЛОННЫ С БОЛЬШИМ ОТБОРОМ

И.А. Тихомиров, Д.Г. Видяев, А.А. Гринюк

Томский политехнический университет
E-mail: orlov@phtd.tpu.edu.ru

*Получены уравнения, описывающие процесс разделения изотопов в фазах при большом отборе. Каждое из этих уравнений при определённых условиях сводится к уравнению колонны при малых отборах. Показано, что число теоретических тарелок в фазе амальгамы тем меньше, чем больше отбор, а при работе колонны с большим отбором величина обменного потока одинакова для фазы амальгамы и фазы раствора.*

В ряде случаев приходится эксплуатировать колонны в режиме большего отбора, когда величина потока отбора $q_k$ делается сравнимой с величиной фазовых потоков циркуляции [1].

Рассмотрим, как можно описать процесс изотопного разделения в этом случае.

Поскольку градиенты изотопных концентраций в обменных фазах различны:

$$\frac{dc_1}{dx} \neq \frac{dc_2}{dx}, \quad \text{т.к.} \quad \frac{dc_1}{dx} = \left(1 - \frac{q_к}{J}\right)\frac{dc_2}{dx}, \qquad (1)$$

где $q_к = J - J'$ – разность прямых и обратных потоков (отбор), $c_1$ и $c_2$ – изотопные концентрации в фазах [2].

Градиенты изотопных концентраций в обменных фазах запишутся следующим образом:

$$\frac{dc_1}{dx} = \frac{J_0}{J}[\varepsilon c_1(1-c_1) - (c_1 - c_2)],$$
$$\frac{dc_2}{dx} = \frac{J_0}{J'}[\varepsilon c_2(1-c_2) - (c_1 - c_2)]. \qquad (2)$$

Здесь $J_0$ – величина полного обменного потока между фазами; $\varepsilon$ – коэффициент изотопного обогащения $\varepsilon = \alpha - 1$, где $\alpha$ – коэффициент элементарного изотопного разделения.

Если воспользоваться соотношением (1) и уравнением переноса лёгкой компоненты вдоль по колонне [3]:

$$(Jc_1 - J'c_2) - \left(D_1\frac{dc_1}{dx} + D_2\frac{dc_2}{dx}\right) = q_к C_к,$$

то можно выразить разность $(c_1 - c_2)$ как функцию только $c_1$:

$$c_1 - c_2 = \frac{q_к(c_к - c_1)}{J'} + \frac{1}{J'}\left(D_1 + \frac{J'}{J}D_2\right)\frac{dc_1}{dx}. \qquad (3)$$

Выражение для $(c_1 - c_2)$ через $c_2$ получается аналогичного типа уравнения (3). Здесь $D_1$ и $D_2$ – коэффициенты диффузии в фазах; $c_к$ – выходная (конечная) изотопная концентрация.

Подставляем теперь выражение $(c_1 - c_2)$ в систему уравнений (2) и преобразуем их к следующему виду:

$$\left[\frac{J}{J_0} + \frac{1}{J'}\left(D_1 + \frac{J'}{J}D_2\right)\right]\frac{dc_1}{dx} = \varepsilon c_1(1-c_1) - \frac{q_к(c_к - c_1)}{J'},$$
$$\left[\frac{J'}{J_0} + \frac{1}{J}\left(D_1 + \frac{J}{J'}D_2\right)\right]\frac{dc_2}{dx} = \varepsilon c_2(1-c_2) - \frac{q_к(c_к - c_2)}{J}. \qquad (4)$$

Обозначая выражения в скобках соответственно как $D_Э$ (т.к. они в силу близости потоков $J$ и $J'$ мало друг от друга отличаются), можем представить ур. (4) в виде:

$$\left(\frac{J}{J_0} + \frac{D_Э}{J'}\right)\frac{dc_1}{dx} = \varepsilon c_1(1-c_1) - \frac{q_к(c_к - c_1)}{J'},$$
$$\left(\frac{J'}{J_0} + \frac{D_Э}{J}\right)\frac{dc_2}{dx} = \varepsilon c_2(1-c_2) - \frac{q_к(c_к - c_2)}{J}. \qquad (5)$$

Таким образом, получаются уравнения, описывающие процессы разделения в фазах [4, 5]. Каждое из этих уравнений сводится к уравнению колонны при малых отборах с учётом того, что $J' \cong J$, а $c_1 \cong c_2 \cong c$.

Из уравнений (5) следует, что высота эквивалентной теоретической тарелки для амальгамы $H_1$ и раствора $H_2$ находится следующим образом:

$$H_1 = \frac{J}{J_0} + \frac{D_Э}{J'}; \quad H_2 = \frac{J'}{J_0} + \frac{D_Э}{J}. \qquad (6)$$

С учётом того, что $H_1\frac{dc_1}{dx} = \frac{dc_1}{dn}$, а $H_2\frac{dc_2}{dx} = \frac{dc_2}{dn}$, система уравнений (5) примет вид:

$$\frac{dc_1}{dn} = \varepsilon c_1(1-c_1) - \frac{q_к(c_к - c_1)}{J'},$$
$$\frac{dc_2}{dn} = \varepsilon c_2(1-c_2) - \frac{q_к(c_к - c_2)}{J}. \qquad (7)$$

Каждое из уравнений системы (7) может быть решено по аналогии с решением уравнения для колонны, если принять $J = J_{ср}$, а $J' = J_{ср} - q_к = J'_{ср}$, где $J_{ср}$ – усредненный поток вещества.

Теперь необходимо оценить соотношение между числом теоретических тарелок в фазе амальгамы и раствора. Из системы уравнений (6) следует:

$$H_1J' - H_2J = 0, \qquad (8)$$

т.е. $\frac{J}{J'} = \frac{H_1}{H_2}$.

Известно, что $L = H_1N_1 = H_2N_2$, где $L$ – длина колонны. С учётом этого, ур. (8) преобразуется к виду:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{J'}{J} \quad \text{или} \quad N_1J = N_2J', \qquad (9)$$

где $N_1$ и $N_2$ – число теоретических тарелок в фазе амальгамы и раствора.

Из соотношений (9) видно, что при работе колонны в режиме с отбором $N_1 < N_2$, т.е. число теоретических тарелок в фазе амальгамы тем меньше, чем больше отбор.

В соответствии с (9) будет справедливо:

$$\frac{N_2 - N_1}{N_2} = \frac{J - J'}{J}.$$

А т.к. $J - J' = q_к$, то получаем:

$$\frac{N_2 - N_1}{N_2} = \frac{J - J'}{J} = \frac{q_к}{J}.$$

Вследствие того, что $D_Э$ много меньше $J'$, $J$ и $J_0$, можно для системы уравнений (6) положить $D_Э \cong 0$ Тогда будем иметь:

$$H_1J_0 = J \text{ и } H_2J_0 = J'. \qquad (10)$$

Воспользовавшись тем, что $L = H_1N_1 = H_2N_2$, из уравнений (10) следует:

$$(LJ_0)_{ам} = JN_1 \quad \text{и} \quad (LJ_0)_{р-р} = J'N_2.$$

Принимая во внимание, что $JN_1 = J'N_2$, получаем, что $(J_0)_{ам} = (J_0)_{р-р}$, т.е. при работе колонны с большим отбором величина обменного потока $J_0$ будет одинаковой как для амальгамы, так и для раствора (что соответствует закону сохранения вещества).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розен А.М. Теория разделения изотопов в колоннах. – М.: Атомиздат, 1960. – 436 с.
2. Тихомиров И.А., Видяев Д.Г., Гринюк А.А. Уравнение переноса вещества и лёгкой компоненты вдоль по колонне без потерь // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 1. – С. 89–92.
3. Тихомиров И.А., Видяев Д.Г., Гринюк А.А. Уравнение амальгамно-обменной колонны в стационарном режиме работы // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 2. – С. 95–96.
4. Рыскин Г.Я., Пташник В.Б. Кинетика изотопного обмена в системе амальгама лития – водный раствор LiCl // Электрохимия. – 1980. – Т. 16. – № 1. – С. 108–111.
5. Князев Д.А., Цивадзе А.Ю., Клинский Г.Д., Левкин А.В. Кинетика изотопного обмена лития в амальгамных системах // Известия ТСХА. – 1988. – № 2. – С. 166–168.


УДК 621.039.542.34